

Implementación de metodología para el diseño de mezclas secas en elementos prefabricados vibro-compactados.



Abstract

The main objective of this final graduation project, to opt for university degree in Construction Engineering, in to establish a methodology for design of one No-Slump concrete mixes according to ACI and ASTM standard, a software program development like a tool and guide .

The steps of the methodology include: an evaluation of current standard for No-Slump concrete as related to local materials, to do the main tests to obtain the physical-mechanical characteristics of the components of the mixes and finally generating the conclusions and suggestions.

The facts will done for comparison point between the theory and practice.

Resumen

El presente proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción tiene como objetivo implementar una metodología para el diseño de una mezcla de concreto con revenimiento nulo con base en lo establecido en las normas del ACI y ASTM generando un Software como herramienta y guía para tal efecto.

Las etapas que conforman la metodología consiste de una revisión de las normas existentes para concretos secos con el fin de adaptarlas a nuestros materiales, la realización de las pruebas ideales para determinar las características físico-mecánicas de los componentes de la mezcla a desarrollar y finalmente el generar las conclusiones y recomendaciones necesarias.

Los datos obtenidos servirán de punto de comparación entre lo que establece la práctica y la teoría.

Implementación de metodología para el diseño de mezclas secas en elementos prefabricados vibro- compactados.

MANUEL ALAN ZUÑIGA
OLMAN CLARK MARTINEZ

Agosto del 2002

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN.....	4
MARCO TEORICO.....	5
METODOLOGÍA	12
RESULTADOS.....	13
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	16
CONCLUSIONES.....	19
RECOMENDACIONES.....	20
ANEXOS	21
REFERENCIAS	33

Prefacio

Lo referente al diseño y construcción de estructuras con base en concretos de revenimiento nulo representan una alternativa naciente en nuestro medio.

Cada vez más, evidenciamos el auge que se da en la construcción de estructuras prefabricadas y pavimentos con este tipo de concretos, pese a requerir de maquinaria altamente industrializada.

El presente trabajo busca ser parte del material didáctico para consulta y complemento en los cursos de ingeniería de los materiales que se brindan en la Escuela de Ingeniería en Construcción, del ITCR.

Es nuestro objetivo principal el proveer a la Industria del concreto en general y la empresa ESCOSA en particular de una herramienta para el diseño de mezclas secas que permita mejorar la calidad de los elementos prefabricados vibro-compactados que se ofrecen al mercado de la construcción.

Finalmente queremos dar un agradecimiento a la empresa Estructuras de Concreto S.A. (ESCOSA) por creer en nuestra propuesta brindándonos toda la colaboración para llevar a cabo nuestro trabajo. Al ingeniero Jorge Solano por su incondicional anuencia en guiarnos y compartir toda su experiencia en este campo.

Al personal docente de la Escuela de Ingeniería en Construcción por formarnos profesionalmente.

De manera muy personal damos gracias a Dios por permitirnos llegar a concluir una de nuestras metas en la vida y a nuestras familias por su apoyo durante toda nuestra formación.

Resumen ejecutivo

Dentro de la amplia gama de elementos prefabricados que existen en nuestro medio, encontramos aquellos cuya fabricación es sobre a base de concretos secos o de revenimiento nulo según los clasifica la norma ACI en su capítulo 211.

Este tipo de mezcla tiene la particularidad de requerir de energía adicional para su compactación y consolidación respectivamente, de modo, que se hace evidente que hablamos de procesos productivos altamente industrializados. Dicho tema es de suma importancia como material de apoyo didáctico y de consulta para los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Construcción.

Las empresas prefabricadoras de mayor incidencia en nuestro país; Estructuras de Concreto y Productos de Concreto a saber, poseen sistemas productivos vibro-compactados y extruídos respectivamente como parte de sus alternativas de mercado.

Este trabajo para efectos de estudio se enfatizó en los elementos prefabricados bajo el concepto de concreto seco vibro-compactado, específicamente en elementos para entrepisos tal y como se detalla en la siguiente figura.



Figura 1. Sección típica de elemento prefabricado vibro compactado. (CAD.

Se escogió a la empresa ESCOSA como alternativa al ser la entidad de la cual se tuvo mayor acceso como fuente de información y también para efectos de realización de las pruebas necesarias para tal efecto. Sin dejar de lado el hecho de la deficiencia que existía en el conocimiento de las normas y procedimientos existentes tanto para la dosificación como para el control de calidad de los concretos de revenimiento nulo.

Dicha problemática representó el principal objetivo desarrollado con el fin de adaptar las normas existentes a la realidad de la empresa ESCOSA para subsanar la situación antes mencionada, de manera que se llegó a obtener los lineamientos básicos que representaron el punto de partida para el control de calidad de los materiales y como poseer un ordenamiento para la dosificación de lo mismo para efectos de variaciones posteriores con criterio técnico, sin dejar de lado la opción que generaron los autores de este proyecto al diseñar un software con toda la metodología de la norma ACI 211 para dosificación de mezclas de revenimiento nulo como herramienta de consulta y seguimiento por parte del laboratorio de calidad de ESCOSA. Cabe recalcar que la empresa se encuentra certificada en lo referente a la calidad de los elementos por lo tanto, este trabajo pasó a ser de gran ayuda para los procedimientos referentes al laboratorio de control de calidad en dicha empresa.

El disminuir la falta de criterio técnico para efectos de las pruebas de laboratorio representó el principal logro para este trabajo, ya que anteriormente se efectuaban a prueba y error.

La metodología que se aplicó, se subdividió en tres partes:

La primera etapa consistió en la revisión del material teórico enfatizando en lo estipulado

en las normas ACI y ASTM asociadas al tema de los concretos de revenimiento nulo y tomando en cuenta los resultados obtenidos por la empresa ESCOSA en pruebas anteriores y así enfocar las etapas que requirieron de mayor atención.

La segunda etapa fue la realización de las pruebas prácticas tanto a los materiales que conforman el concreto seco, la implementación de la metodología indicada en el ACI al proceso productivo de los elementos vibro-compactados y realizar la prueba en el aparato Vebe para determinar la consistencia y densidad del concreto en estudio.

Por último se plantearon las conclusiones asociadas al respectivo análisis lo cual vino a subsanar la inquietud de los involucrados en el proceso productivo para efectos de conocer y adaptar los criterios técnicos para el mejoramiento continuo de la calidad de los elementos.

En referencia a los resultados obtenidos, cabe mencionar el hecho de la variación que se presentó en la cantidad de los agregados finos con respecto a los gruesos cuando se realizó la pista de producción de prueba, se debió aumentar la cantidad de finos y disminuir la de gruesos con respecto a las cantidades indicadas teóricamente según la metodología del ACI y así evitar problemas de fisuramiento y compactación en los elementos por exceso de material grueso.

La prueba con el aparato Vebe generó como resultados el tiempo Vebe para la consistencia de la mezcla con uso de un aditivo reductor, con ausencia del mismo y la densidad del concreto en estado fresco, dichos resultados fueron de mucha importancia ya que evidenciaron el efecto del uso del aditivo reductor de agua y su influencia en la variación de la relación agua-cemento. Parte de las conclusiones es el haber obtenido una alta resistencia con respecto a la resistencia de diseño lo que demostró la factibilidad de reducir la cantidad de cemento.

En resumen, el proyecto llegó a ser un excelente apoyo para la creación de la documentación interna para la certificación de la calidad y el control de los elementos prefabricados vibro-compactados.

Introducción

En nuestro país, dentro de la Industria de la Construcción encontramos los sistemas prefabricados como una alternativa estructural y constructiva de mucha importancia, que viene a ser una realidad consolidada para clientes, inversionistas y consultores. Se trata de sistemas económicos, sismo-resistentes, y también con seguridad y rapidez en el proceso constructivo, los que generan un producto eficiente en los costos y efectivo en los tiempos establecidos, cumpliendo con las normas y especificaciones técnicas establecidas.

El énfasis del trabajo será en optimizar el diseño de la mezcla de concreto seco utilizado en la fabricación de los elementos prefabricados. Cabe enfatizar que el concreto es el componente de más cuidado ya que el acero de refuerzo principal es a flexión y en la producción al no contar con acero a cortante la compactación del concreto debe ser la necesaria para incrementar la resistencia del elemento al corte. De ahí la necesidad de enfatizar en todo lo referente a las propiedades físico-mecánicas de los agregados, la granulometría de los mismos y sobre todo el tipo de cemento a utilizar, etc.

El uso de mezclas secas de concreto en nuestro medio es poco frecuente, básicamente se limita a procesos productivos en Plantas Industrializadas en donde se requiere eliminar formaleas o desmoldar lo más pronto posible. Actualmente se encuentra en fase de estudio e implementación el uso de mezclas secas en pavimentos rígidos. Lo anterior genera un alto grado de incertidumbre en todo lo referente al diseño, control y recomendaciones posteriores en este tipo de concreto, a pesar de que el ACI dedica todo un capítulo a este tipo de mezcla y se cuenta con normas Europeas.

El objetivo general de este proyecto, fue establecer la metodología más conveniente para el diseño de una mezcla de concreto seco para elementos prefabricados o vibro-compactados.

Como objetivos específicos se establecieron:

- Adoptar las especificaciones técnicas necesarias para concretos secos en sistemas productivos de esta índole establecido por el ACI o similar.
- Analizar los materiales que intervienen como componentes de una mezcla seca mediante pruebas de laboratorio.
- Plantear las conclusiones y recomendaciones para garantizar el correcto uso de una mezcla seca.

Marco teórico

Dentro de las ventajas que ofrecen los sistemas prefabricados podemos citar:

1. Sistemas que utilizan tecnología muy avanzada y menor cantidad de mano de obra tanto en la parte productiva como en la fase del montaje.
2. Reducción en los tiempos de ejecución que inciden directamente en los costos de mano de obra y maquinaria.
3. Versatilidad en los sistemas y elementos que se ofrecen.

Los elementos prefabricados elaborados en procesos extruídos o vibro-compactados son una alternativa dentro del sector constructivo en poder de las constructoras y prefabricadoras más importantes en nuestro medio: ESCOSA y Productos de Concreto S.A.

Para el primer caso la tecnología utilizada es netamente Italiana cuyo proceso productivo se fundamenta en el concepto de vibro-compactación o “slipform” en el cual los elementos se confeccionan en máquinas moldeadoras o trefiladoras en donde la mezcla seca o concreto seco viene dirigido dentro de sectores móviles, es hipervibrado por baterías de vibradores con distintas frecuencias; el elemento se produce en dos fases.

En el segundo caso la tecnología utilizada es netamente Alemana cuyo proceso productivo es el extruído o “extruder” en las cuales el concreto seco pasa por hélices de alimentación especiales para ser comprimido en una sola fase.

Se tomara como base de análisis el caso de la empresa Estructuras de Concreto S.A. por ser la alternativa con más de veinte años ya consolidada en el mercado para la cual se tiene suficiente material para efectos de análisis y estudio.

El propósito es implementar las normativas y especificaciones a nuestras condiciones y materiales, por lo que estimamos

la importancia del tema a desarrollar en la deficiencia evidente en lo referente al uso de mezclas secas en nuestro trabajo diario.

Para la empresa ESCOSA, los resultados obtenidos serán de vital importancia para el mejoramiento de la calidad de los elementos

vibro-compactados que ofrece y así afinar un poco más las experiencias anteriores realizadas a los elementos prefabricados dentro de esta gama, ofreciendo mayor seguridad a clientes y consultores.

Los tipos de elementos a tomar como referencia para efectos de análisis es la vigueta y el panel multitubular pretensados para entrepisos, ver figuras a continuación:



Figura 2. Sección multitubular pretensado para entrepiso.

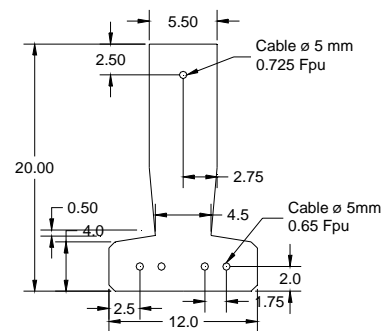


Figura 3. Sección vigueta pretensada para entrepiso.

Generalidades sobre mezclas secas.

Los concretos de asentamiento nulo (mezclas secas) son muy empleados en la prefabricación, con un mínimo de plasticidad, que pueden no tener ningún asentamiento en el Cono de Abrams, por lo cual este tipo de ensayo no es de utilidad. En algunos casos puede resultar útil la prueba con el consistómetro Vebe. Para su colocación en moldes o encofrados, estos concretos requieren alta energía de vibración o compactación, con vibradores externos o con mesas vibratorias, y en ocasiones con tapas sobre los encofrados, en las que se colocan vibradores adosados.

Como se suelen necesitar altas resistencias, estos concretos de prefabricación requieren elevadas cantidades de cemento y agregados limpios, duros y de buena graduación.

En cuanto a las características de fabricación de este tipo de concreto, se pueden mencionar las siguientes: es recomendable el uso de cementos de bajo calor de hidratación; el uso de puzolanas y adiciones activas es adecuado; los agregados tienen requisitos de gradación menos exigentes que los del concreto convencional, e inclusive se permite que el contenido de finos no plásticos, puede ser hasta del 10%.

En procesos de prefabricación donde se van a utilizar esfuerzos precomprimidos, hay cierto recelo en usar aditivos por el temor a la reacción con los ductos o con los cables. Sin embargo, hay muy buenos ejemplos de este tipo de concretos empleando superplastificantes.

Quizá dentro de este grupo de concretos sin asentamiento debemos mencionar incluir los concretos compactados con rodillo (método CCR) de reciente uso en pavimentos (años sesenta hacia nuestros días), con bajo contenido de cemento, pero con alta energía de compactación de rodillos estáticos y vibratorios.

Dentro de sus ventajas comparativas están el uso de maquinaria tradicional para trabajos de tierra o asfaltos (camiones, moto niveladoras, cilindros, etc.), la rapidez de ejecución de las obras, la disminución de las juntas de retracción, su baja permeabilidad y contenido de cemento similares a los de concreto

convencional (entre 180 y 350 Kg/cm³) que lo hacen competitivo desde el punto de vista económico.

Métodos para la medición de la consistencia en mezclas secas.

La trabajabilidad es la propiedad del concreto la cual determina la facilidad para ser mezclado, colocado, consolidado y acabado.

No existe hoy en día una única prueba para demostrar esta propiedad en términos cuantitativos, básicamente es demostrada por algunos tipos de pruebas para consistencia y así llegar a definir un índice de trabajabilidad. La consistencia puede ser definida como la humedad necesaria de una mezcla de concreto para fluir. La prueba de revenimiento es uno de los métodos más conocidos para determinar la consistencia y representa una de las pruebas básicas según lo establece el ACI.

Las mezclas sin revenimiento se clasifican de esta manera debido a que poseen un revenimiento menor a 2.5 cms (1 pulg.), dichas mezclas generan una pobre trabajabilidad si son compactadas con técnicas manuales, uso de una vara, por ejemplo, dicha situación varía con el uso de vibradores mecánicos.

El rango de mezclas trabajables puede llegar a ser ampliado por técnicas de consolidación las cuales imparten gran energía dentro de la masa al ser consolidada. El aparato Vebe, el aparato factor de compactación y la mesa "Thaulow drop" son parte del equipo de laboratorio capaces de generar datos muy útiles para concretos secos.

El aparato Vebe: Las partes principales consisten en una mesa vibratoria, un contenedor simple, cono de revenimiento, plato plástico y una vara graduada con un peso superpuesto.

La prueba de consistencia es el tiempo de vibrado en segundos requerido para que el cono truncado de concreto cambie de forma. Este tiempo es directamente proporcional a la energía utilizada en la muestra a compactar. En mezclas

muy secas, este método es extremadamente sensitivo para diferencias de consistencia.

Factor de compactación: Consiste en una batería vertical de dos troncos de cono, invertidos y un cilindro (15x30cms) colocado bajo ellos. La masa de concreto es colocada sin compactación en el cono superior y de mayor capacidad. Una vez lleno se deja caer la mezcla por gravedad por la parte inferior del cono hasta el cono siguiente. Posteriormente se abre dicho cono para que la masa caiga dentro del cilindro, hasta llenarse, se pesa y se anota el dato. Después por vibración externa se acomoda la masa dentro del cilindro y se repiten los pasos anteriores. Las pérdidas de masa se traducen en un cociente por la diferencia de pesos, es un índice que se relaciona con la plasticidad, entre más áspera sea la mezcla ese factor será menor.

Prueba thaulow drop: La operación de la mesa drop es similar al aparato Vebe, la prueba consiste en la transformación de un cono truncado de concreto moldeado anteriormente. La energía de transformación es obtenida por los sucesivos golpes de la mesa y la medida utilizada, en resumen la medida para definir la consistencia es el número de revoluciones producidas por la manivela (cuatro golpes por revolución). Este aparato para mezclas muy secas no es tan sensitivo para generar datos en comparación con el Vebe.

La interrelación de estos métodos se muestra en la siguiente tabla generada en el ACI 211. Note que el aparato Vebe o la mesa de revoluciones (table drop) pueden generar medidas de consistencia en mezclas muy secas.

Tabla #1. Comparación de medidas de consistencia por varios métodos.				
Descripción consistencia	Revenimiento (cms)	Vebe (seg)	Factor compactación	Thaulow Drop (revoluciones)
Extrema - seca	---	32 – 18	---	112 – 56
Muy denso	---	18 – 10	0.70	56 – 28
Denso	0 – 2.5	10 - 5	0.75	24 – 14
Denso - plástica	1 – 7.5	5 – 3	0.85	14 – 7
Plástica	7.5 – 12.5	3 – 0	0.90	Menor 7
Fluida	12.5 – 17.5	---	0.95	---

Datos de tabla ACI 2.3.1 (a). Del ACI 211.1-74

Cantidad de agua requerida.

El ACI 211 establece de manera aproximada la cantidad de agua requerida solo para concretos descritos en estados de rigidez – plástico, plástico y fluida la cual se muestra en la tabla ACI 2.3.1(a). Considerando que el agua requerida para revenimientos entre 7.5 – 10 cms es de un 100 por ciento, el contenido relativo de agua para esas tres consistencias son de 92, 100 y 106 por ciento respectivamente.

Thaulow extiende este concepto al promedio relativo de contenido de agua incluyendo mezclas rígidas. Estas se muestran en la tabla ACI 231(b) (Tabla #2), estableciendo el rango de revenimiento entre 7.5 y 10 cms clasificado en un 100 por ciento y comparándolos con los valores de ACI 211.1.74

Tabla #2. Relación aproximada de contenido de agua para diferentes consistencias.		
Descripción Consistencia	Thaulow table	Datos ACI 211.1.74
Extremadamente seca	78	---
Muy denso	83	---
Denso	88	---
Denso – Plástica	93	92
Plástica	100	100
Fluida	106	106

Fuente: Tabla 2.3.1 (b). ACI 211.1-74

En una serie de pruebas de laboratorio conducidas por el comité ACI, se limitó el tamaño máximo de los agregados a 3/8 pulg (9.5mm) y 1 ½ pulg (38mm), el contenido de agua relativa para los seis diferentes niveles de consistencias comparándolos con los sugeridos por thaulow.

Es evidente que las medidas de consistencia influyen en las distintas pruebas,

revenimiento, la prueba Vebe y la prueba Thaulow Drop. El comité ACI admite de manera limitada, que dichas pruebas son suficientes para justificar las recomendaciones de la tabla #3. Estas recomendaciones son realmente la cantidad requerida.

Tabla #3. Requerimientos aproximados de agua de mezclado para diferentes consistencias y tamaños máximos del agregado.								
Consistencia			Contenido Agua (%)	Agua en kg/m3 de concreto para los tamaños máximos del agregado indicados				
Descripción	Vebe (seg)	Rev. (pulg)		10mm	15mm	20mm	25mm	40mm
Concreto sin aire incluido								
Extremo seco	32-18	---	78	178	169	157	148	139
Muy denso	18-10	---	83	187	187	169	157	148
Denso	10-5	0-1	88	199	193	178	169	157
Denso plástico	5-3	1-3	92	208	199	187	178	163
Plástico	3-0	3-5	100	228	217	199	193	178
Muy plástico	---	5-7.5	106	243	228	214	208	187
Porcentaje de aire atrapado				3	2.5	2	1.5	1
Concreto con aire incluido								
Extremo seco	32-18	---	78	157	148	139	133	125
Muy denso	18-10	---	83	169	157	148	139	133
Denso	10-5	0-1	88	178	169	157	148	139
Denso plástico	5-3	1-3	92	187	175	166	157	148
Plástico	3-0	3-5	100	202	193	178	178	157
Muy plástico	---	5-7.5	106	217	208	193	187	169
Porcentaje recomendado de aire atrapado				8	7	6	5	4.5

Fuente: Datos con base en la tabla 2.3.1(c) del ACI 211.1.74

Para el caso que se requiera más cantidad de agua, el factor de cemento puede ser incrementado para mantener la relación agua-cemento deseable, rige también para el caso que sea necesario disminuir la cantidad de agua a la indicada, el máximo posible en ambos casos será el que indiquen las pruebas de laboratorio.

Tabla #4. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para una consistencia plástica.					
Tamaño máximo nominal de agregado (mm)	Volumen de agregado grueso compactado-envarillado por m³ de concreto para varios módulos de finura.				
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20
10	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
15	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
20	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
40	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68

Los volúmenes se basan en agregados secos-envarillados en condiciones descritas en el ASTM C-29.

Fuente: Tabla 3.5.1 (a) del ACI 211.1.74.

Selección de proporciones.

En el capítulo del ACI 211.1-74, se recomienda que el concreto puede ser colocado utilizando la mínima consistencia a la hora del mezclado, colado y con base en los requerimientos de compactación y acabado, esto influye favorablemente en la capacidad de resistencia a esfuerzos, dureza y otras propiedades físicas. Las mayores consideraciones en la selección de proporciones aplican de manera similar en concretos de No-revenimiento como en mezclas de comportamiento plástico. Esas consideraciones son:

- Proveer de una adecuada durabilidad para resistir satisfactoriamente el tiempo y otros agentes destructivos al estar expuesto.
- Producir el esfuerzo requerido para resistir las cargas impuestas sin que se dañe la estructura.
- Utilizar el tamaño máximo de agregado obteniendo una economía, mejor colocado y un concreto resistente.
- El llegar a una consistencia lo suficientemente densa para ser compactado eficientemente a una masa homogénea.

Revenimiento y tamaño máximo del agregado.

El ACI 211.1-74 contiene recomendaciones para consistencias en el rango de “denso-plástico” a “muy plástico”, estas se

incluyen en la tabla #3. Consistencias en el rango plástico y seco, consistencias en el rango muy rígido y seco son utilizadas en la fabricación de diversos elementos prefabricados: tuberías, miembros pre-tensados y unidades para mampostería. Estas recomendaciones de consistencias en el rango de muy rígido a seco, adecuadamente compactadas, influyen en la calidad y economía de los productos.

El tamaño máximo del agregado seleccionado para una construcción en particular esta dictado primordialmente considerando la mínima sección, el mínimo espaciamiento entre las barras de refuerzo, torones de pre-tensado y ductos para torones de pos-tensado.

Para elementos prefabricados vibro-compactados ya sea con acero de pre ó pos-tensión; el tamaño máximo es de 19mm, en nuestro medio el utilizado corresponde al tamaño de 12.5mm por el espacio entre los tubos vibradores de la máquina industrial.

Estimación de los requerimientos del agua y graduación del agregado.

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir una mezcla de consistencia deseable esta influenciada por el tamaño máximo, forma de la partícula, la graduación del agregado y el contenido de aire atrapado.

En mezclas más ricas, los requerimientos de agua en la mezcla pueden incrementarse significativamente si se aumenta el contenido de material cementante.

La graduación del agregado es un importante parámetro en la selección de la proporción de un concreto industrial para fabricación de elementos prefabricados. En procesos extrusivos o vibro-compactados, la forma de los elementos queda completamente definida conforme avanza la máquina industrial, en resumen, para este caso, el concreto no necesita de soportes externos una vez colocado y compactado.

Es notoria la necesidad en este concreto de una alta cohesión, lo cual se obtiene por medio de una cuidadosa selección de la graduación del agregado fino. Ciertas puzolanas, tales como ceniza fina, llegan a ser altamente utilizadas para el incremento de la cohesión en la mezcla. En algunos casos, la cohesión puede ser mejorada con el incremento en la cantidad del material cementante.

Las cantidades de agua que se muestran en la tabla #3, son lo suficientemente precisas para estimaciones preliminares de proporciones.

Selección de la relación agua cemento.

El aire contenido en las mezclas o en los materiales cementosos representan un potencial beneficio en asegurar la durabilidad del concreto y adicionalmente proveer otras ventajas.

El aire contenido en el concreto puede ser utilizado cuando productos fabricados de este material se requieren para ser expuestos a amplios rangos de temperatura o bien a frecuentes ciclos de congelamiento. Sin embargo, debido a las dificultades del aire contenido en las mezclas de No-revenimiento, se recomienda antes de la etapa de construcción realizar previamente las pruebas de dureza necesarias.

La selección de la relación agua-cemento depende del esfuerzo requerido. La tabla #5 provee una información inicial para obtener el dato requerido. Utilizando la relación agua-cemento máxima permisible y la cantidad de agua requerida en la mezcla detallada en la tabla #3, se obtiene la cantidad de cemento requerido dividiendo el dato primero entre el dato obtenido de la tabla #3.

Tabla #5. Relación agua-cemento para varios datos de esfuerzo del concreto		
Esfuerzo a compresión a los 28 días, en Mpa.	Relación agua-cemento, por peso	
	Concreto con aire contenido	Concreto sin aire contenido
50	0.33	---
45	0.38	---
40	0.43	0.34
35	0.48	0.40
30	0.55	0.46
25	0.62	0.53
20	0.70	0.61
15	0.80	0.71

Fuente: Tabla 3.4.3 del ACI 211.1.74

Estimación de la cantidad de agregado grueso.

La cantidad de agregado grueso por unidad de volumen de concreto puede ser utilizada de manera consistente con la adecuada *Placability*. *Placability* se define como la habilidad de consolidar adecuadamente la mezcla con el mínimo esfuerzo físico o mecánico en el tiempo.

La cantidad de agregado grueso puede determinarse de una mejor manera como resultado de investigaciones en laboratorios, utilizando los materiales del plan de trabajo, con un posterior ajuste en la planta.

La tabla #4 provee un buen estimado de la cantidad de agregado grueso para diversos tipos de concretos obteniendo así un alto grado de trabajabilidad conveniente para el refuerzo usualmente utilizado en la construcción.

Estos valores de volumen seco compactado con varilla de agregado por unidad de volumen de concreto se basan en relaciones muy empíricas para agregados con límites convencionales. En la tabla #6 se muestran algunos valores típicos de

volumen de agregado por unidad de volumen de concreto para diferentes consistencias expresadas como valores mostrados en la tabla #4.

Tabla#6. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para diferentes consistencias. (porcentajes de factores Tabla #4).							
Consistencia			Volumen de agregado grueso compactado-envarillado para diferentes tamaños máximos de agregado.				
Descripción	Rev. (mm)	Vebe (seg)	10mm	15mm	20mm	25mm	40mm
Extremo seco	---	32-18	190	170	145	140	130
Muy denso	---	18-10	160	145	130	125	125
Denso	0-25	10-5	135	130	115	115	120
Denso plástico	25-75	5-3	108	106	104	106	109
Plástico	75-125	3-0	100	100	100	100	100
Muy plástico	125-190	---	97	98	100	100	100

Datos basados en pruebas de concreto sin aire incluido realizadas con arena natural con un módulo de finura de 2.90. Los tamaños máximos nominales son de 10, 20 y 40mm. Los valores para 15mm y 25mm son interpolados. Fuente: Tabla 3.5.1. (b) del ACI 211.1.74

La información contenida en las tablas #4 y #6 representa una base para seleccionar de manera apropiada la cantidad de agregado grueso como primer paso, posteriormente se requieren de ajustes para efectos de las pruebas a realizar en sitio o en planta.

En productos prefabricados de concreto, donde se requiere una alta cohesión para conservar la forma una vez que el concreto es vibro-compactado, los valores indicados en las tablas #4 y #6 pueden ser reducidos. El grado de cohesión requerido depende de manera particular del proceso para la fabricación de los elementos.

Metodología

El proyecto se subdivide en tres partes:

- a) **Recopilación de información:** Esta etapa se centró principalmente en la revisión del material teórico disponible, las especificaciones técnicas vigentes y la retroalimentación de los resultados obtenidos por la empresa ESCOSA previa investigación de la misma y contenidos en los informes del Laboratorio de calidad de ESCOSA, con la finalidad de identificar los materiales que han generado resultados positivos buscando establecer la optimización de la mezcla. En el apartado *referencias* se detallan los documentos consultados.
- b) **Realización de pruebas prácticas:** Con base en los materiales analizados y seleccionados previa consulta a los informes de la empresa ESCOSA y con el aval del profesor guía, se procedió a la caracterización físico-mecánica de los mismos mediante las respectivas pruebas del laboratorio de calidad de la empresa y los datos originados en el laboratorio LANAMME (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales), las pruebas se realizaron según lo estipulado en la metodología descrita en las normas ASTM para determinar las propiedades de los materiales.
Posteriormente se desarrolló por parte de los autores del proyecto un software como guía basado en la metodología para el diseño de mezclas secas según lo establecido por el ACI en su capítulo 211 obteniendo así una dosificación teórica la cual se sometió a prueba en una pista de producción con el fin de observar y analizar su comportamiento en el proceso de vibro-compactación.

Una vez conocido el comportamiento de la dosificación teórica con los ajustes necesarios, se procedió a realizar la prueba del *consistómetro Vebe* para determinar la consistencia de la mezcla sometida a estudio y la densidad de la misma en estado fresco. Dicho procedimiento se detalla en la norma ASTM C1170.

- c) **Análisis, conclusiones y recomendaciones:** Con base en los resultados obtenidos se define cuál es la metodología optima y los materiales ideales para la mezcla del concreto seco en elementos extruídos o vibro-compactados y así como las, así como las recomendaciones pertinentes para los elementos una vez producidos.

Resultados

Resultados del laboratorio.

Cemento.

Gravedad específica: 3.15
Blaine: 4800 promedio.

Se utilizó en cemento tipo extrafino suministrado por la Industria Nacional de Cemento el cual es de uso en los concretos de la empresa ESCOSA.

Agregados.

Se utilizaron los disponibles por la empresa ESCOSA para efectos de la producción de sus elementos, los cuales se detallan a continuación:

Tabla #7. Propiedades de la piedra quinta: Quebrador Orosi.

Propiedad	Valor	Norma ASTM
MF	6.13	C - 136
Tamaño máx.	12.55mm	C - 136
Gsss	2.75	C - 127
Gbs	2.62	C - 127
Peso unitario	1311Kg/cm ³	C - 29
Peso compac.	1480Kg/cm ³	C - 29
% Abs	1.78	C - 127

Tabla #8. Propiedades de la piedra quinta: Quebrador Cerrominas.

Propiedad	Valor	Norma ASTM
MF	5.99	C - 136
Tamaño máx.	12.58mm	C - 136
Gsss	2.18	C - 127
Gbs	1.92	C - 127
Peso unitario	1278Kg/cm ³	C - 29
Peso compac.	1373Kg/cm ³	C - 29
% Abs	6.20	C - 127

Los datos de las gravedades específicas y los pesos son generados por el LANANME en su informe con fecha 31 de Mayo del 2002. Los restantes datos fueron calculados en el Laboratorio de calidad de ESCOSA con fecha 31 de Mayo del 2002.

Tabla #9. Propiedades de la arena: Río Chirripó.

Propiedad	Valor	Norma ASTM
MF	2.66	C - 136
Tamaño máx.	5.89mm	C - 136
Peso masivo	1443g	C - 29
Peso seco	1500g	C - 29
% Abs	2.74	C - 128

Tabla #10 Propiedades de la arena: Quebrador Cerrominas

Propiedad	Valor	Norma ASTM
MF	3.51	C - 136
Tamaño máx.	4.79mm	C - 136
Peso masivo	793 g	C - 29
Peso seco	817 g	C - 29
% Abs	3.03	C - 128

Datos calculados en el Laboratorio de calidad de ESCOSA con fecha 31 de Mayo del 2002.

En el apartado *Anexos* se detallan las fórmulas para el cálculo de los valores contenidos en las tablas.

Granulometrías.

Los gráficos que muestran el comportamiento granulométrico se adjuntan con la tabla de valores obtenidos como % pasando para los diferentes tamices.

Con base a los gráficos que detallan la granulometría de los agregados gruesos y arenas se escogieron para efectos de aplicarlos en la metodología del ACI, los siguientes:

*PIEDRA QUINTA OROSI
ARENA NATURAL RIO CHIRRIPO*

Resultado de la metodología del ACI.

Se generó por parte de los autores del proyecto una hoja electrónica como software que contiene los pasos para el diseño de mezclas secas según lo establece el ACI 211.1.74. Un ejemplo del mismo se muestra como anexo.

Los pasos a seguir para el diseño de mezclas secas son los siguientes:

PASO 1: *Selección de la consistencia.* Ver tablas #1 y #2 respectivamente. La baja relación agua-cemento influye y puede ser utilizada en los cálculos posteriores.

PASO 2: *Selección del tamaño máximo del agregado.*

PASO 3: *Determinar la relación agua-cemento.* Dicho dato es con base en el esfuerzo requerido para el concreto.

PASO 4: *Determinar la cantidad aproximada de agua requerida.* Dicho dato es con base en la consistencia de la mezcla, tamaño máximo del agregado y el porcentaje de aire atrapado, ver tabla #3.

PASO 5: *Calcular la cantidad de cemento.* Este dato se obtiene con base a la relación agua-cemento y la cantidad de agua.

PASO 6: *Calcular el contenido de agregado grueso en la mezcla:* Ver tablas #4 y #6 respectivamente.

PASO 7: *Determinar la cantidad de agregado fino.*

PASO 8: *Correcciones en el campo.* Esto debido a las condiciones en que se encuentran los materiales en sitio, específicamente los agregados.

La dosificación teórica obtenida como resultado utilizando el software para el diseño de mezclas secas se detalla en la siguiente tabla:

Tabla #11. Dosificación resultado de procedimiento ACI 211.

Dosificación teórica	
Descripción	Cantidad
Cemento	438 kg
Piedra Quinta	1100 kg
Arena	635 kg
Agua	150 lts

Resultado de pista de prueba.

La dosificación teórica fue sometida a prueba en una pista de producción para observar y analizar su comportamiento.

Los datos iniciales de la prueba son:

Fecha de realización: 15 de Junio 2002

Lugar: Planta 2 ESCOSA

Hora inicio: 8:25 am

Hora finalización: 11:45 am

Código de molde: pista #14

Tipo de elemento: Multitubular entrepiso.

La pista de prueba generó como resultado la siguiente dosificación la cual se muestra en la tabla #12:

Tabla #12. Dosificación resultado de pista de prueba

Dosificación corregida	
Descripción	Cantidad
Cemento	438 kg
Piedra Quinta	950 kg
Arena	785 kg
Agua	150 lts

Resultado de la prueba con el consistómetro Vebe.

La dosificación resultada de la pista de prueba se sometió al aparato Vebe para determinar el tiempo Vebe, la prueba se realizó con dos tipos de muestra: una con aditivo y otra sin el aditivo para calcular la diferencia en la cantidad de agua al utilizar un aditivo reductor de agua.

El aditivo utilizado es un reductor de agua denominado FLUIMENT 40 de la casa Italiana REDAHELI, el cual se utiliza en los otros tipos de concreto (mezcla fluida) para la fabricación de los otros elementos.

El tiempo Vebe obtenido para la mezcla que se originó como resultado de la pista de prueba fue de 39 seg con una densidad de 2263.5 Kg/cm^3 .

Al someter al aparato Vebe la muestra con aditivo buscando obtener el mismo tiempo, el resultado fue de una reducción de 15 lts de agua con respecto a los 150 lts que contenía la muestra anterior.

En ambos casos el revenimiento según el cono de Abrams fue de 0 cms.

La prueba fue con base en el método A, cálculo del tiempo Vebe con sobrecarga, metodología que se detalla en la norma ASTM C-1170.

Resultado de resistencia a la compresión.

Para la confección de los cilindros a fallar para determinar su resistencia a la compresión se siguió el procedimiento establecido en la norma ASTM C-39, de forma tal que se confeccionaron dos muestras a fallar en cada una de las edades definidas en estudio.

Los resultados obtenidos a diferentes edades fueron:

Tres días: 290 Kg/cm^2

Siete días: 335 Kg/cm^2

Veintiocho días: 430 Kg/cm^2

Los formularios generados por el Laboratorio de calidad de la empresa ESCOSA se muestran en el apartado de *Anexos*.

Análisis de resultados

Es importante recalcar que una de las propiedades más importantes en los concretos de revenimiento nulo es su capacidad de compactarse en una masa lo más homogénea posible eliminando así los vacíos que puedan generarse, dicha propiedad se logra por medio de una adecuada energía de compactación generada en la máquina vibro-compactadora.

Cabe mencionar que en los elementos prefabricados en donde se utiliza este tipo de concreto su refuerzo principal es basándose en flexión, al no poseer refuerzo al cortante, es aquí donde el grado de compactación de la mezcla asume un papel de gran relevancia en el comportamiento estructural de los elementos.

Análisis del cemento

En procesos altamente industrializados de producción de elementos prefabricados de carácter masivo, se requiere de la reutilización de los moldes para así obtener altos índices de productividad.

La opción de utilizar cementos extrafinos como en este caso, brinda la posibilidad de generar altas resistencias tempranas para disminuir el tiempo para el destensado y desmolde de los elementos.

El cuidado a tener con este tipo de cementos es el debido curado para evitar así el fisuramiento por contracción por el alto calor de hidratación generado.

Análisis de los agregados

Para efecto del agregado grueso se tienen las opciones provenientes de los quebradores Orosi y Cerro Minas respectivamente.

El primer caso presenta un comportamiento bastante aceptable en la curva granulométrica únicamente en el tamiz de 3/8" se acerca al límite superior establecido por ASTM pese a tener en forma global un MF mayor que el otro agregado, una característica considerable es su bajo porcentaje de absorción lo cual se complementa con su alto peso unitario, lo que indica que tenemos un agregado de mucha mayor densidad con poca posibilidad de existencia de poros. Para el caso de la piedra quinta de Cerro Minas, la curva nos muestra para los tamices de 1/2", 3/8" e inclusive el #4 una alta concentración de material grueso que puede influir negativamente en la compactación y consolidación que se busca en el concreto, así como en el acabado del elemento, es imprescindible mencionar su elevado porcentaje de absorción y su menor peso unitario que nos indican la posibilidad de un agregado muy susceptible al fisuramiento durante el proceso productivo que puede alterar el contenido de finos en la mezcla.

Para el análisis de las opciones de arenas a utilizar, Río Chirripó y Cerro Minas respectivamente, en evidente que el mejor comportamiento en la curva lo presenta la proveniente del Río Chirripó, ya que para el caso de la arena de Cerro Minas se demuestra que es un material extremadamente fino y en algunos tamices se encuentra por debajo del límite establecido por ASTM.

Basados en estos análisis, se escogen como materiales para la pista de prueba la Piedra Quinta de Orosi y la Arena del Río Chirripó.

Análisis del resultado de la pista de prueba

El software diseñado como guía para proporcionar mezclas secas con base en la metodología descrita en el ACI, es claro que da como resultado una dosificación de carácter teórico sujeta a cambios a la hora de llevarla a la práctica tal y como el mismo ACI lo aclara en su capítulo 211, es evidente que la dosificación teórica nos muestra una cantidad mayor de agregado grueso con respecto a los finos lo que en un proceso de vibro-compactación se da una alta probabilidad de problemas de compactación y en el acabado de los elementos, a diferencia si se tratase de un proceso de extrusión en donde los ductos se forman por medio de piezas que funcionan bajo el concepto de “tornillos sin fin” los cuales proveen a la mezcla una alta presión reduciendo la posibilidad que se formen muchos vacíos, a parte que es el método de avance de la máquina a lo largo de toda la pista.

En los primeros diez metros de “chorrea” fue evidente tal situación, ya que debido a la falta de finos que incrementase la cohesión entre los agregados gruesos se generaron fisuras muy considerables en la parte superior de los elementos así como la gran cantidad de material suelto en los vibradores posteriores, basándonos en la experiencia del operador de la máquina con base al comportamiento correcto de la misma durante una producción y la experiencia acumulada de pruebas pasadas por parte del encargado del Laboratorio, criterios totalmente válidos, se procede a variar la dosificación de la mezcla aumentando la cantidad de los finos reduciendo a la vez la cantidad de los gruesos hasta llegar a observar la disminución de la situación descrita anteriormente, lo cual se evidenció posterior a los veinte metros recorridos por la máquina hasta llegar al comportamiento correcto de la misma de manera visual realizando correcciones posteriores hasta concluir toda la pista.

Queda claro que el software genera una dosificación la cual debe someterse a prueba hasta llegar a adaptarla al tipo de proceso que se

tiene lo cual evidentemente el ACI difícilmente tomará en cuenta.

Análisis del resultado de la prueba con el aparato Vebe.

Posterior a la finalización de la prueba, surgió la inquietud de lo difícil que resulta controlar el agua que provee la máquina durante la “chorrea”, la cual es necesaria para efectos de la compactación y la lubricación necesaria en los laterales que definen la forma del elemento, esto es obvio que afecta de manera negativa la relación A/C de la mezcla y por consiguiente la resistencia a la compresión, lo cual no es recomendable aún mayormente en elementos estructurales, es aquí donde surge la posibilidad de utilizar un aditivo reductor de agua para minimizar dicho efecto negativo.

La prueba con el aparato Vebe aparte de indicarnos cual es el tiempo Vebe para la mezcla en estudio para efectos de control de calidad, nos indicó cuanta cantidad de agua llega a sustituir el uso del aditivo de manera que no se afecte la relación A/C y la resistencia a la compresión del concreto tal y como se analiza posteriormente.

Cabe mencionar que el método tipo A en la prueba del Vebe presenta una mayor precisión que el método B con base a lo que detalla el mismo ASTM C-1170, este fue el criterio para efectos de escogencia.

Análisis de los resultados del f'c del concreto.

Para los datos mostrados como resultado de la falla de los cubos a 3, 7 y 28 días respectivamente, se demuestra la influencia de un cemento extrafino con respecto a un cemento Tipo 1 normal.

A los siete días ya casi se obtiene la resistencia de diseño para los 28 días, es evidente por el tipo de estructura que se requiere de un concreto estructural de alta resistencia, pero por el tipo de cemento que se utiliza, una disminución en la cantidad del mismo nos lleva a disminuir la excesiva resistencia a los 28 días influyendo positivamente en el costo por m³ del

concreto y minimizar efectos posteriores negativos en la mezcla, fisuras por contracción por ejemplo.

La figura #4 nos muestra la curva de resistencia a la compresión del concreto.

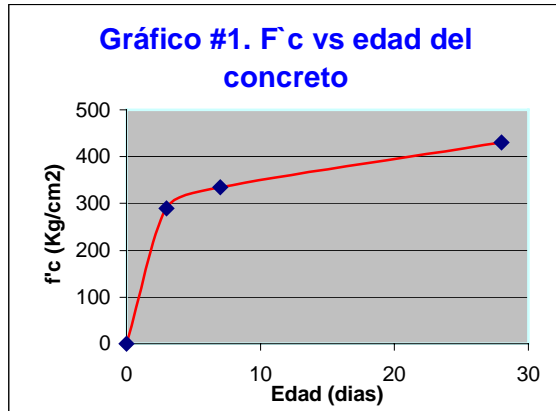


Figura 4. Gráfico resistencia a la compresión del concreto VS. edad en días.

Análisis de la cantidad de agua utilizada

Durante la realización de la prueba, se notó la variación en la consistencia para las diferentes tandas de concreto solicitadas a la mezcladora. Dicha situación obedece principalmente a variaciones que la mezcladora no realiza con respecto a la humedad de los agregados pese a contar con sensores para ello, otra situación que se presenta es la cantidad de agua que genera la máquina vibro-compactadora para efectos de compactación lo cual varía la dosis de agua según el diseño para efectos de hidratación del cemento, esto en teoría afecta la relación A/C y puede generar bajas resistencias a futuro, en esta prueba dicha situación no se generó debido a la cantidad de cemento agregado.

Consideramos que tal efecto se puede minimizar con la inclusión de un aditivo reductor de agua.

Conclusiones

- 1) El software desarrollado lo cual representó nuestro principal objetivo, viene a ser una guía muy importante para efectos de la dosificación de la mezcla utilizada en la producción de elementos prefabricados vibro-compactados, pero no debe perderse el concepto que es un aporte de carácter teórico el cual requiere de ajustes en la práctica para adaptarlo al tipo de proceso y materiales con que cuenta la empresa ESCOSA.
- 2) Es de suma importancia que los agregados que se utilicen posean un correcto comportamiento granulométrico para reducir la formación de vacíos en el producto final que generen problemas de compactación.
- 3) El consistómetro Vebe representa una excelente prueba para medir la consistencia de la mezcla en estudio y a la vez un excelente parámetro para el control de calidad de la misma.
- 4) El tiempo Vebe de la mezcla utilizada en la producción de elementos prefabricados vibro-compactados es de 39 seg llegando a ser el recomendado para el correcto comportamiento de la máquina.
- 5) El uso de un aditivo reductor de agua es necesario para minimizar el efecto negativo del agua de la máquina en la relación agua cemento y en la resistencia a la compresión del concreto.

Recomendaciones

- 1) Por las características del cemento utilizado, es recomendable disminuir la cantidad con el fin de disminuir la resistencia obtenida en la prueba.
- 2) Las pistas de producción se deben cubrir con algún tipo de plástico posterior a la chorrea para evitar problemas de fisuramiento por contracción del concreto al estar expuesto al viento y cambios de temperatura, ver detalle en el apartado de *Anexos*.
- 3) El curado en los elementos producidos es de suma importancia para garantizar la hidratación de todo el cemento, cabe recordar, que se tiene un cemento de mayor área específica.
- 4) El uso de un aditivo superplastificante con el fin de mejorar el confinamiento del concreto en el momento de encontrarse dentro de la máquina vibro-compactadora.

Anexos

Anexo 1.

Se adjunta un ejemplo del formato del software desarrollado para el diseño de mezclas secas en los elementos vibro-compactados y la guía para el usuario. Consiste en una hoja electrónica con la metodología indicada en el ACI 211.1.74.

GUIA PARA EL USO DEL SOFTWARE PARA DISEÑO DE MEZCLAS SECAS.

- 1) Digite los valores para las propiedades de los agregados obtenidas como resultados en el laboratorio bajo la siguiente nomenclatura:
% agr: Porcentaje de agregado, en caso de utilizar dos tipos, de no ser así digite 100% para el único material.
Gs: Gravedad específica seca.
MF: Módulo de finura.
Pues: Peso volumétrico envarillado seco.
% abs: Porcentaje de absorción.
- 2) *Apartado 1.* Introduzca el tamaño máximo del agregado en milímetros y el valor del contenido de agua en kg/m³ obtenido de la tabla.
- 3) *Apartado 2.* Defina si el concreto es con o sin aire incluido y digite el valor de la resistencia a la compresión de diseño para obtener la relación agua-cemento de la tabla.
- 4) *Apartado 3.* Defina el tipo de cemento a utilizar (extrafino-tipo 1).
- 5) *Apartado 4.* Digite el porcentaje de contenido de aire con base a la tabla mostrada en el apartado 1.
- 6) *Apartado 5.* Escoja el tipo concreto con base a su clasificación con base en la consistencia, ver tabla del mismo apartado.
- 7) *Apartado 6.* Escoja el tamaño máximo del agregado grueso definido anteriormente.
- 8) *Apartado 10.* defina el porcentaje del volumen de concreto en función del volumen de las tolvas en las que se transporta el mismo a la máquina vibro-compactadora.
- 9) En los anteriores apartados los resultados se obtienen de manera inmediata al estar referenciados con los datos ya digitados.

Diseño de mezcla seca

Diseño de mezclas secas

Concreto con aire-contenido

Fecha: 14-Jun-02

0) PROPIEDADES AGREGADOS

Descripción	%agr	Gs	MF	Pues	% abs
Procedencia agregado grueso					
Piedra Quinta Orosí	0	0.00	0.00	0	0.00
		0.00	0.00	0	0.00
Procedencia agregado fino					
Arena Natural Río Chirripó	0	0.00	0.00		0.00
	0	0.00	0.00		0.00
		0.00	0.00		0.00

1) REQUERIMIENTO APROXIMADO DE

Concreto sin aire incluido						
Descripción	Contenido	Agua, kg / m³				
		10	12.5	20	25	40
Extremo seco	78	180	170	160	150	140
Muy denso	83	185	185	170	160	150
Denso	88	200	195	180	170	155
Denso-plástico	92	205	200	185	180	160
Plástico	100	225	215	200	195	175
Fluido	106	240	230	210	205	185
Porcentaje aproximado de contenido de aire.		3	2.5	2	1.5	1
Air-entrained concrete						
Extremo seco	78	155	150	140	135	125
Muy denso	83	170	160	150	140	135
Denso	88	175	170	160	150	140
Denso-plástico	92	180	175	165	160	145
Plástico	100	200	190	180	175	160
Fluido	106	215	205	190	185	170
Porcentaje recomendado como total contenido de		8	7	6	5	4.5

Concreto con aire contenido ▼

Descripción:

Muy denso ▼

Dato tamaño máximo de agregado:

12.5 mm

Cato cantidad de agua:

Aproximado 175 kg / m³

Volumen de agua 0.175 m³

2) CALCULO RELACION AGUA-CEMENTO

Relación entre esfuerzo a compresión a los 28 días y relación agua-cemento		
Esfuerzo compresión a los 28 días, kg / cm ²	Relación agua-cemento por	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
500	0.33	----
450	0.38	----
400	0.43	0.34
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Concreto con aire contenido ▼

Dato esfuerzo compresión a los 28 días kg / cm²

Relación agua-cemento:

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
PROGRAMA DE LICENCIATURA
CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN

Diseño de mezcla seca

3) Cantidad requerida de cemento

Contenido de cemento kg / m³

Dato gravedad específica de cemento Extrafino ▼

Volumen sólido de cemento m³

4) Contenido de aire

Dato porcentaje de aire atrapado %

Volumen de aire m³

5) Volumen de agregado grueso por unidad

Descripción	Volumen de				
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm
Extremo seco	190	170	145	140	130
Muy denso	160	145	130	125	125
Denso	135	130	115	115	120
Denso-plástico	108	106	104	106	109
Plástico	100	100	100	100	100
Fluido	97	98	100	100	100

Descripción: ▼

Dato tamaño máximo de agregado:

Volumen de agrgado seco compactado envarillado:

Porcentaje de agregado seco envarillado:

6)
Volume de agregado grueso por unidad

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de						
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.50
10.00	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.39
12.50	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48
20.00	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55
25.00	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.60
40.00	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.65

Dato tamaño máximo de agregado:

12.5 mm ▼

Dato módulo de finura de la arena:

0.00

Volumen de agregado seco compactado envarillado:

0.51

7)
Agregado grueso

Peso volumétrico de agregado seco

0 kg / m³

Volumen sólido de agregado grueso

#DIV/0! m³

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
 ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
 PROGRAMA DE LICENCIATURA
 CURSO: PROYECTO DE GRADUACIÓN

Diseño de mezcla seca

8)
Volumen requerido de arena

Volumen total de materiales menos la arena

#DIV/0! m³

Volumen sólido de arena requerido

#DIV/0! m³

Peso volumétrico de arena seca requerida

#DIV/0! kg / m³

9)
Agua absorbida por los agregados

Agua absorbida por la arena

#DIV/0! kg / m³

Agua absorbida por agregado grueso

0.00 kg / m³

Total de agua absorbida

#DIV/0! kg / m³

10)
Resumen de diseño de mezcla

Dato porcentaje proporción 70.00 %

Esfuerzo compresión a los 28 días 350 kg / cm²

Tamaño nominal del agregado mm

Relación agua-cemento

Contenido de aire %

Peso unitario de agregado grueso Kg/m³

Tabla de materiales por diseño de mezcla

Agua kg/m ³	Cemento kg/m ³	Agregado grueso kg/m ³	Agregado fino kg/m ³
#¡DIV/0!	437.50	0.00	#¡DIV/0!

#¡DIV/0! Kg/m³

Ingredientes para 70.00 % concreto dosificado

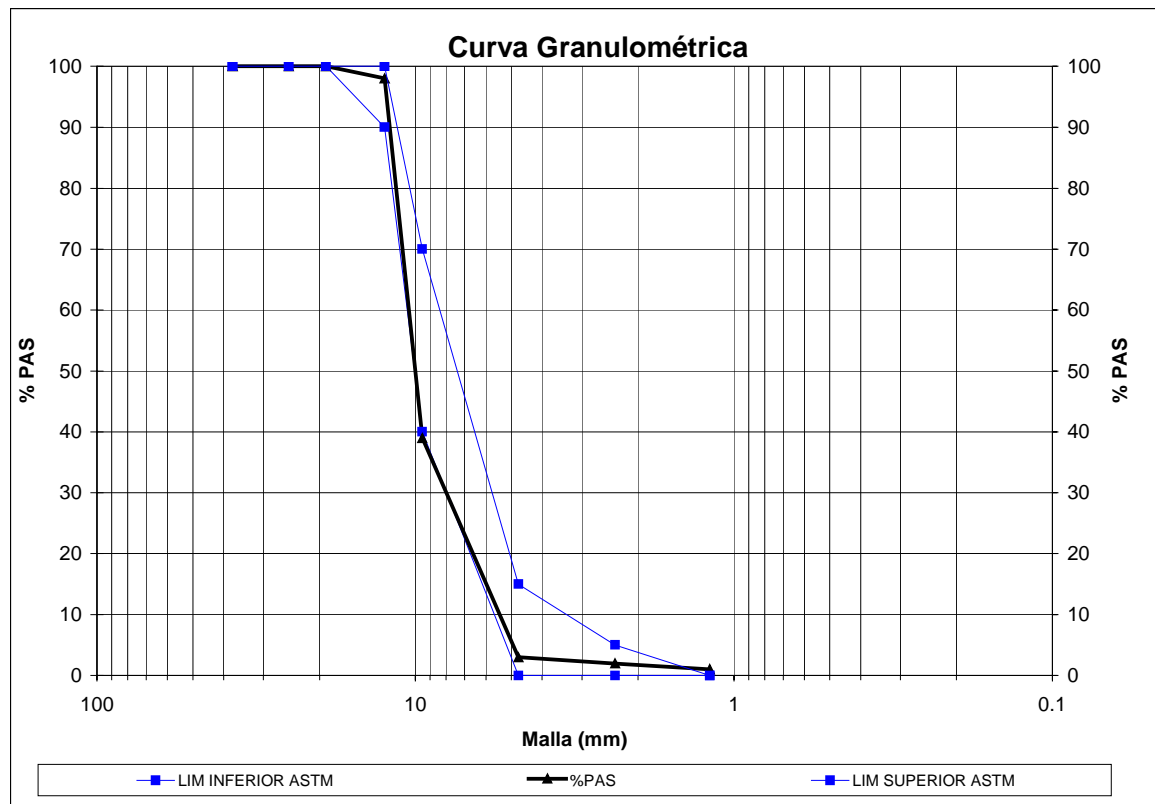
Agua kg	Cemento kg	Agregado grueso kg	Agregado fino kg
#¡DIV/0!	306.25	0.00	#¡DIV/0!

OBSERVACIONES:

Análisis Granulométrico de un Agregado Grueso

Fecha de ingreso: 15-May-2002
 Tipo de agregado : Quinta ▼
 Procedencia del agregado: Meco ▼

Malla "	Malla mm	%PAS	Especificaciones ASTM C33-52T	
			Linf	Lsup
1 1/2"	37.5	100.00	100	100
1"	25	100.00	100	100
3/4"	19.1	100.00	100	100
1/2"	12.5	98.00	90	100
3/8"	9.52	39.00	40	70
# 4	4.75	3.00	0	15
# 8	2.36	2.00	0	5
# 16	1.19	1.00	0	0



Observaciones:

Anexo 2.

Se indican las formulas para el cálculo de algunas de las propiedades obtenidas como resultado para los agregados en estudio y una copia del in forme generado por el LANAMME con los resultados de las pruebas de laboratorio para los agregados. Se fundamentan con base en las NORMAS ASTM indicadas en el apartado de los *resultados*.

FORMULAS PARA EL CALCULO DE ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

AGREGADO GRUESO. ASTM C - 127

Peso seco: Ps

Peso saturado superficie seca: Psss

Peso sumergido: Psum

$$Gbs = Ps / (Psss - Psum)$$

$$Gbss = Psss / (Psss - Psum)$$

$$Gs = Ps / (Ps - Psum)$$

$$\% \text{ ABS} = (Psss - Ps) / Ps * 100$$

AGREGADO FINO. ASTM C – 128

A = Peso seco

B = Peso picnómetro lleno de agua

C = Peso picnómetro + muestra + agua

S = Peso superficie saturada seca

$$Gbs = A / (B+S-C)$$

$$Gbss = S / (B+S-C)$$

$$Gs = A / (B+A-C)$$

$$\% \text{ ABS} = (S-A) / A * 100$$

Anexo 3.

Se muestran fotografías a manera de ilustración de los procesos en la producción de los elementos prefabricados vibro-compactados, dichas fotos bajo la autorización de la Gerencia de producción de la empresa ESCOSA.



Figura 5. Producción de elementos prefabricados por el método de vibro-compactación.



Figura 6. Colocación del concreto en la máquina vibro-compactadora por medio de grúas internas.



Figura 7. Colocación de lonas sobre las pistas de producción para evitar fisuramiento de los elementos por pérdida de agua



Figura 8. Desmolde de los elementos

Referencias

- Sánchez de Guzmán, Diego. 2000.** TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO. Colombia. Editorial Bhandar. Pags. 319-325.
- Porrero, Joaquín, et al. 1996.** MANUAL DEL CONCRETO. Venezuela. Editorial SIDETUR. Pags. 19-23,36-41,258-259.
- Troxell, George Earl, et al. 2da Ed.** COMPOSITION AND PROPERTIES OF CONCRETE. Editorial McGraw-Hill. Pags. 60-93.
- Capuano, Gennaro, et al. 1999.** LA LOSA HUECA. PROYECTO Y UTILIZACIONES. Italia. Editorial Gruppo Centro Nord. Pags.11-31.
- ACI 211, Commitee. 1991.** RECOMMENDED PRACTICE FOR SELECTING PROPORTIONS FOR NO-SLUMP CONCRETE. **ACI Journal.** Pags. 153-169.
- ASTM C-1170, 1991.** DETERMINING CONSISTENCY AND DENSITY OF ROLLER-COMPACTED CONCRETE USING A VIBRATING TABLE. Pags. 1 – 5.
- ESCOSA, Laboratorio de Calidad. INFORME SOBRE PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y ARENAS UTILIZADOS EN LA PRODUCCION DE LOS ELEMENTOS.** Mayo, 2002.
- ASTM C-29, 1999.** STANDARD TEST METHOD FOR BULK DENSITY AND VOIDS IN AGGREGATE. Pags. 1-4.
- ASTM C-127, 1993.** SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE. Pags. 64-68.
- ASTM C-128, 1997.** SPECIFIC GRAVITY ABSORPTION OF FINE AGGREGATE. Pags. 69- 72.
- ASTM C-136, 1997.** SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES. Pags. 78-82.

